

## بررسی تاثیر نوع عمل آوری بر مقاومت فشاری و نفوذپذیری بتن

محمود نادری<sup>۱\*</sup>، رضوان ولی بیگی<sup>۲</sup>، سید محمد میر صفی<sup>۳</sup>

۱- استاد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران  
۲- مدیر گروه عمران، آموزشکده فنی لوشان (پردیس وزارت راه و شهرسازی)، لوشان، ایران  
۳- کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان، ایران

### چکیده

عمل آوری بر روی تمام ویژگی‌های بتن سخت شده نظیر مقاومت و نفوذ پذیری تاثیر می‌گذارد. از این رو، در این مقاله به بررسی تاثیر شش نوع عمل آوری شامل: غوطه ور در آب، گونی مرطوب، گونی مرطوب به همراه نایلون، ماده عمل آورنده، بخار و رها شده در محیط آزمایشگاه بر روی نفوذ پذیری، مقاومت فشاری و پیچشی نمونه‌های بتنی پرداخته شد. بتن‌های مورد استفاده، از رده‌های مقاومتی C۲۵ و C۳۵ بوده که جهت تعیین نفوذ پذیری و مقاومت پیچشی آنها به ترتیب از روش‌های درجای محفظه استوانه ای و پیچش بهره گرفته شد. نتایج بدست آمده نشان داد که در عمل آوری رها شده در محیط آزمایشگاه، با کاهش ۳۹/۳ درصدی مقاومت فشاری و ۳۱ درصدی مقاومت پیچشی نسبت به مقاومت مشخصه بتن، به میزان ۶۲ درصد بر نفوذپذیری بتن افزوده می‌شود و در بین روش‌های عمل آوری ذکر شده، تنها دو روش عمل آوری غوطه ور در آب و عمل آوری توسط گونی مرطوب به همراه نایلون، قادر به تامین حداقل مقاومت مشخصه فشاری و پیچشی طرح بتن بودند. همچنین با افزایش مقاومت مشخصه بتن از C۲۵ به C۳۵، از سرعت نفوذ آب در بتن کاسته شد. بیشترین سرعت و مقدار نفوذ آب در بتن، در عمل آوری توسط ماده عمل آورنده به ثبت رسید و کمترین سرعت و مقدار نفوذ آب در بتن، در عمل آوری غوطه ور در آب ملاحظه شد.

کلمات کلیدی: عمل آوری، نفوذ پذیری، بتن، روش پیچش، محفظه استوانه ای، مقاومت فشاری.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	10.22065/jsce.2017.69343.1013	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2017.69343.1013	۱۳۹۷/۰۸/۳۰	۱۳۹۶/۰۶/۰۳	۱۳۹۶/۰۶/۰۳	۱۳۹۶/۰۴/۱۰	۱۳۹۶/۰۹/۱۲
				*نویسنده مسئول:		محمود نادری
				پست الکترونیکی:		Naderi-m@ikiu.ac.ir

## Studying the Effects of Kind of Curing on Compressive Strength and Permeability of Concrete

Mahmood Naderi<sup>1\*</sup>, Rezvan Valibeigi<sup>2</sup>, Seyed Mohammad Mirsafii<sup>3</sup>

1- Prof., Dept. of Civil Engineering, Engineering Faculty, International Imam Khomeini University, Iran

2- Head of Civil Dept., Technical College (Ministry of Road and Urban Development Campus), Lowshan, Iran

3- MSc, Dept. of Civil Engineering, Engineering Faculty, Takestan, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

### ABSTRACT

Curing affects all the features of the hardened concrete such as strength and permeability. Therefore, in this paper investigated the effects of six different curing methods, namely immersing in water, abandoning in the laboratory, using wet burlap, wet burlap with nylon, curing chemicals, and steam, on the compressive and torsional strengths and permeability of concrete specimens. Applied concretes were C25 and C35 that in-situ cylindrical chamber used to determine permeability. Results revealed that the concrete abandoned in the laboratory had the worst curing condition regarding torsional and compressive strength gaining. In the “abandoned in the laboratory” method, permeability is increased 62% with 39.3% and 31% decrease in respectively the compressive and torsional strengths compared to their respective specified strengths. Only two curing methods, i.e. “immersing in water” and “using wet burlap with nylon” were able to provide the minimum specified compressive and torsional strengths. With an increase in the concrete specified strength from C25 to C35, there was a decrease in the water permeation speed. Curing with chemicals had the highest speed and amount of water permeation in concrete, and curing through abandoning in the laboratory stood next. Also, curing by immersing in water had the lowest speed and the least amount of water permeation.

### ARTICLE INFO

Received: 03/12/2017

Revised: 01/07/2017

Accepted: 25/08/2017

### Keywords:

Curing

Permeability

Concrete

Twist-off

Cylindrical chamber

Compressive strength

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2017.69343.1013

\*Corresponding author: Mahmood Naderi.

Email address: Naderi-m@ikiu.ac.ir

## ۱- مقدمه

امروزه لازم است که بسیاری از سازه‌ها را علاوه بر معیار مقاومت در مقابل دوام نیز طراحی نمود. دوام از مهمترین ویژگی‌های بتن می‌باشد که در بسیاری از شرایط محیطی دارای اهمیت ویژه ای است. بطور کلی دوام ناکافی به شکل از هم پاشیدگی در بتن دیده می‌شود که می‌تواند یا در اثر عوامل خارجی و یا به دلیل عوامل داخلی موجود در خود بتن باشد. همچنین این عوامل را می‌توان در دسته‌های فیزیکی، شیمیایی یا مکانیکی طبقه بندی نمود که خسارت مکانیکی ممکن است در اثر ضربه، سایش، خلا زایی یا فرسایش باشد. عوامل شیمیایی از هم پاشیدگی، شامل واکنش‌های قلیایی-سیلیسی و قلیایی-کربناتی می‌باشند. حمله شیمیایی از بیرون، عمدتاً از طریق اثر یون‌های مهاجم مانند کلرایدها، سولفات‌ها یا دی اکسید کربن، و همچنین بسیاری از مایعات طبیعی یا صنعتی و گازها رخ می‌دهد. از طرفی دیگر، عوامل فیزیکی از هم پاشیدگی، شامل اثرات دمای زیاد یا تفاوت در انبساط حرارتی سنگدانه‌ها و خمیر سیمان سخت شده می‌باشد. همچنین یک علت مهم خسارت، یخ زدن و آب شدن متناوب بتن و اثرات مربوط به نمک‌های یخ زدا است. باید متذکر شد که فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی از هم پاشیدن می‌تواند توأماً عمل نماید. همچنین شایان توجه است که از هم پاشیدگی بتن به ندرت ناشی از یک عامل منفرد می‌باشد؛ اغلب، بتن می‌تواند علی‌رغم برخی از خصوصیات نامطلوب آن رضایت بخش باشد، اما با اضافه شدن یک عامل نامساعد، خسارت اتفاق خواهد افتاد. به این دلیل، در بعضی از مواقع به زحمت می‌توان از هم پاشیدگی بتن را به یک عامل ویژه ارتباط داد، اما در معنی کلی کلمه، کیفیت بتن با توجه خاص به نفوذ پذیری، تقریباً همیشه در صحنه ظاهر می‌شود. در حقیقت، به استثنای خسارت مکانیکی، کلیه اثرات نامطلوب بر دوام، در بر گیرنده جابجایی مایعات از میان بتن است [۱]. به عبارت بهتر، نفوذپذیری نقش مهمتر و بیشتری در بین عوامل موجود دارد و در حقیقت نفوذپذیری، مقدار خسارت تحت عوامل خارجی را تعیین می‌کند [۲]. به این دلیل ملاحظات دوام نیاز به درک پدیده‌های مربوطه دارد که در ادامه به آنها پرداخته شده است.

حفرات موجود در بتن نقشی مهم در فعال کردن و تاثیر عوامل داخلی و خارجی دارد. این حفرات دارای اندازه‌های متنوعی بوده که با قرارگیری در کنار یکدیگر و اتصالشان به یکدیگر، مسیر عبور جریان را ایجاد می‌نماید از اینرو مطالعه آن در نفوذپذیری امری مهم می‌باشد. از طرفی، اندازه منافذ خمیره سیمان دارای محدوده نانومتری تا حفرات هوای میکرومتری می‌باشد که با وجود ریز تر بودن منافذ خمیره سیمان نسبت به بتن اما ریز ساختار بتن بسیار پیچیده تر از خمیر سیمان است که دلیل آن ویژگی‌های ناحیه انتقالی بین ماتریس و سطح سنگدانه‌ها می‌باشد [۳]. همچنین مقاومت و دوام بتن مستقیماً متأثر از تعداد، نوع، اندازه و توزیع درصد منافذ در خمیر سیمان، سنگدانه و سطح مشترک بین خمیر سیمان و سنگدانه است. به عنوان مثال، مقاومت و مدول الاستیسیته بتن متأثر از کل حجم منافذ موجود در بتن است [۴]. در حالی که نفوذپذیری وابسته به تخلخل و اتصال منافذ موجود در خمیر سیمان و ریزترک‌های موجود در بتن، خصوصاً در سطح مشترک بین خمیر سیمان و سنگدانه می‌باشد [۵].

نتیجه ای که از بکارگیری سه نوع شکل سنگدانه (با درجه گردی متفاوت) حاصل شد به این صورت می‌باشد که هر چه میزان گردی سنگدانه افزایش یابد بطور متناظر میزان نفوذپذیری بتن نیز افزایش می‌یابد همچنین در سنگدانه‌های با درجه گردی بالاتر، با افزایش نسبت آب به سیمان، نرخ کاهش نفوذپذیری بتن بیشتر است [۶] و نیز با افزایش درجه زبری سطحی و نسبت تحدب (گردی) سنگدانه، بر مقاومت فشاری بتن افزوده می‌شود [۷].

پوزولان‌ها (نانو سیلیکات‌ها) به عنوان جایگزین بخشی از سیمان، توانایی قابل ملاحظه ای در کاهش منافذ بزرگ و نفوذ پذیری بتن دارد. واکنش‌های سیلیسی پوزولان و آهک ناشی از هیدراسیون سیمان، خاصیت پرکنندگی داشته و موجب کاهش منافذ بزرگ و کاهش نفوذ پذیری و افزایش دوام بتن است [۸-۱۱].

مقاومت و نفوذپذیری بتن وابسته به عوامل گوناگونی است که یکی از مهمترین آنها نسبت آب به سیمان است. نسبت آب به سیمان که از آن به عنوان پارامتر حاکم در مقاومت و دوام بتن یاد می‌شود، عامل تعیین کننده درصد تخلخل خمیر سیمان است [۱۲]. با افزایش نسبت آب به سیمان، مقدار نفوذ پذیری بتن افزایش می‌یابد. عیار سیمان نیز در کنار نسبت آب به سیمان، تأثیر قابل ملاحظه ای بر مقاومت و دوام بتن دارد بطوریکه با افزایش عیار سیمان از مقدار نفوذپذیری بتن کاسته می‌شود [۱۳]. همچنین با افزایش عیار سیمان از

۳۵۰ به ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، مقدار جذب آب بتن به میزان ۴۲/۷٪ کاهش می‌یابد [۱۴]. در بتن‌های با نسبت کم آب به سیمان، مقدار مناسب سیمان باعث غلظت بیشتر خمیر سیمان و ایجاد فضای کمتر برای آب موجود می‌گردد. که در نتیجه نزدیک شدن ذرات سیمان به یکدیگر، پس از هیدراسیون، منافذ بتن ریزتر شده و بر اثر ادامه واکنش هیدراسیون این منافذ ریز هم مسدود می‌گردد. از طرف، مقدار مناسب سیمان در مخلوط سبب تراکم بهتر و عدم جداسازی آنها شده و نفوذپذیری کاهش می‌یابد [۱۵].

عمل آوری در هوای آزاد در مقایسه با عمل آوری توسط آب، بر میزان جذب آب بتن می‌افزاید در صورتیکه نفوذپذیری بتن را حدود ۳/۵ برابر افزایش می‌دهد. همچنین با افزایش مقاومت فشاری بتن، از مقدار جذب آب آن کاسته شده و با افزایش میکروسیلیس از مقدار جذب آب و نفوذپذیری بتن کاسته می‌شود [۱۴].

در عمل داده‌های حاصل از نتایج آزمایش‌های اخیر نشان داد که نفوذپذیری بتن در مقایسه با خمیر سیمان خالص با نسبت آب به سیمان و درجه بلوغ یکسان، بیشتر است و اضافه نمودن سنگدانه به خمیر سیمان، نفوذپذیری بتن را به مقدار زیادی افزایش می‌دهد [۱۶، ۱۷] و اختلاف بین نفوذپذیری خمیر سیمان و بتن حاوی همان خمیر با همان نسبت آب به سیمان از اینجا سرچشمه می‌گیرد که نفوذپذیری سنگدانه‌ها بر عملکرد بتن تاثیر می‌گذارد. از نقطه نظر تئوریک به نظر می‌رسد اگر چنانکه نفوذپذیری سنگدانه‌ها خیلی کم باشد وجود این نوع مصالح در بتن باعث کاهش سطح موثر جریان آب می‌شود و بدلیل دور زدن سنگدانه‌ها توسط جریان آب، طول مسیر جریان افزایش یافته و نهایتاً بدلیل قطع جریان داخل شبکه مویینه خمیر سیمان، اثر سنگدانه‌ها در کاهش نفوذپذیری بتن چشمگیر می‌باشد. به عبارت دیگر، در یک بتن کاملاً متراکم شده، که دارای سنگدانه‌های با نفوذپذیری کم است، بواسطه احاطه شدن سنگدانه‌ها توسط خمیر سیمان، نفوذپذیری خمیر سیمان بیشترین نقش را در نفوذپذیری بتن دارد [۱].

در تحقیقی دیگری دیده شد که با کاهش جذب آب بتن با رده‌های مقاومتی C۲۰ تا C۳۰، نفوذپذیری اکسیژن در آن کاهش می‌یابد و همچنین با بررسی انواع سنگ گرانیت با جذب آب‌های متفاوت، این نتیجه حاصل شد که در نمونه‌های نفوذپذیر و با جذب آب پایین تر سنگ، میزان نفوذ کاهش می‌یابد [۱۸]. در شرایط عمل آوری متفاوت، مقدار جذب آب سطحی بتن بیشتر از جذب اشباعی آن می‌باشد اما مقدار جذب آب سطحی و جذب اشباعی، ارتباط واضحی با مقاومت فشاری بتن ندارد که این مساله نشانگر آنست که مقاومت نمی‌تواند به سادگی مقدار جذب آب را تخمین بزند. اساساً نفوذپذیری به جذب آب سطحی بتن بستگی دارد و در بتن‌های با جذب آب سطحی بیشتر، مقاومت در مقابل حمله سولفات‌ها افزایش می‌یابد [۱۹].

اندازه سنگدانه تاثیر به سزایی در نفوذپذیری و دوام بتن دارد بطوریکه با کاهش اندازه سنگدانه، از میزان نفوذپذیری بتن نیز کاسته می‌شود [۶]. همچنین با افزایش نسبت سنگدانه به سیمان، مقدار نفوذپذیری بتن افزایش می‌یابد [۲۰]. در تحقیق دیگری دلیل بهبود پارامترهای مربوط به نفوذپذیری بتن، بهبود خواص ناحیه انتقال و کاهش میزان خلل و فرج در سیستم منافذ بتن عنوان شد [۲۱].

نوع کانی سنگدانه‌ها نیز در میزان نفوذپذیری بتن تاثیر به سزایی دارد. بعضی از سنگدانه‌ها مانند بازالت و کوارتز در مقایسه با بعضی دیگر از جمله دولومیت، پیوستگی کمتری با خمیره سیمان ایجاد می‌کنند و بر اثر جمع شدگی و یا تغییرات دما و رطوبت در بتن، ریز ترک‌ها در نواحی پیوستگی خمیر و سنگدانه به سرعت گسترش می‌یابد و باعث افزایش نفوذپذیری می‌گردد. از طرفی دیگر، ذرات با اشکال پولکی و طولی می‌توانند به نحو نامطلوبی روی دوام بتن اثر بگذارند زیرا دانه‌های پولکی تمایل به قرار گرفتن در یک جهت داشته و سبب آب انداختگی بتن می‌شود و همچنین منافذ هوا در زیر این سطوح جمع می‌گردند [۲۲].

دانه بندی مناسب سنگدانه‌ها نیز از عوامل مهم در نفوذپذیری بتن می‌باشد، بطوریکه با کاهش یا عدم استفاده از ریز دانه (ماسه)، نفوذپذیری بتن افزایش می‌یابد [۲۳].

در ارتباط با شکل سنگدانه‌ها، دانه‌های گرد شن و ماسه طبیعی از دانه‌های زاویه دار به دست آمده از سنگ‌های خرد شده متمایزند. اتصال سنگدانه به سیمان به ویژگی‌های مکانیکی همچون بافت سطحی سنگدانه مربوط است بطوریکه ملات سیمان، چسبندگی بهتری با سنگدانه‌های زبر در مقایسه با سنگدانه‌های صاف و صیقلی دارد. این اتصال هیچ گاه پیوسته و مطلوب نبوده و آثار موضعی و ناپیوستگی‌ها همواره نمایان است. به عنوان مثال سطح سنگدانه‌های بازالت بسیار کم توسعه یافته و متبلور است و این یکی از دلایلی است که موجب ضعف

در اتصال سنگدانه‌های بازالت به ماتریس در مقایسه با سنگ‌هایی نظیر ماسه سنگ، آهک و ... شده و باعث توسعه ترک‌ها در سطح مشترک می‌گردد. در سنگدانه‌های متخلخل ضمن جذب آب بیشتر، دوام بتن در مقابل تر و خشک شدن متناوب و یخ و ذوب یخ کاهش می‌یابد [۲۲].

مقاومت خمشی بتن با مقاومت بالا در عمل آوری مرطوب، بیشتر از شرایط عمل آوری بوسیله ماده عمل آورنده شیمیایی که روی سطح بتن را می‌پوشاند، می‌باشد [۲۴] و جایگزینی تا ۵۰ درصدی اسلگ بجای سیمان، تاثیر کمی روی مقاومت بتن دارد در صورتیکه با جایگزینی بیشتر اسلگ، افزایش ناگهانی در مقاومت بتن ایجاد می‌گردد. همچنین نفوذ پذیری یون کلر با افزایش جایگزینی اسلگ، بطور مشخصی کاهش پیدا می‌کند [۲۵]. در بتن با مقاومت بالا تحت اثر بار خمشی، عمل آوری در اون در مقایسه با شرایط عمل آوری استاندارد و عمل آوری توسط بخار، باعث ایجاد مقاومت پایین تری نسبت به کلرید و یخ و ذوب یخ می‌گردد [۲۶].

مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی ساخته شده از سیمان پرتلند معمولی، با حداکثر اندازه سنگدانه ۲۰ میلی‌متر و عمل آوری شده توسط روش‌های غوطه ور در آب، بخار، رها شده در محیط آزمایشگاه، رها شده در محیط بیرون و با پوشش مرطوب مورد آزمایش قرار گرفت که بر طبق نتایج، در تمامی طرح اختلاطها، مقاومت فشاری بتن عمل آوری شده توسط بخار، با حداکثر دمای ۸۰ درجه سانتیگراد، دارای پایین ترین مقاومت می‌باشد. همچنین با عمل آوری توسط روش غوطه وری و توسط پوشش مرطوب، بیشترین مقاومت فشاری حاصل می‌گردد [۲۷].

مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی عمل آوری شده با بخار در مدت زمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۴ ساعت، افزایش می‌یابد در صورتیکه عمل آوری با بخار تا ۲۴ ساعت، باعث کاهش مقاومت فشاری بتن می‌شود [۲۸]. همچنین با افزایش دمای عمل آوری از ۶۰ به ۷۰ درجه سانتی‌گراد، افزایش چشمگیری در مقاومت بتن حاصل نمی‌شود و از افزایش دمای عمل آوری به بیش از ۸۰ درجه سانتیگراد، بدلیل غیر اقتصادی بودن و احتمال آسیب دیدگی بتن اجتناب گردد. تجاوز دمای داخلی بتن از ۷۰ درجه سانتیگراد، برای گروه رطوبتی خشک، سبب انبساط حرارتی القایی تاخیری و کاهش بیش از حد مقاومت نهایی بتن می‌گردد [۲۲]. از طرفی با استفاده از دو نوع سیمان، با و بدون خاکستر بادی، با افزایش دمای عمل آوری سن واکنش هیدراسیون افزایش می‌یابد که منجر به افزایش مقاومت اولیه آن می‌گردد. از طرف دیگر، پس از ۲۸ روز، مقاومت خمیره عمل آوری شده در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به شدت کاهش می‌یابد. همچنین میکرو گرافی خمیره در ۲۸ روز نشان داد که نمونه‌های عمل آوری شده در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد دارای تخلخل زیادی در خمیره سیمان بوده در صورتیکه خمیره در دمای عمل آوری ۴ و ۲۲ درجه سانتی‌گراد، دارای ساختار متراکم تری است [۲۹]. همچنین نمونه‌های عمل آوری شده در دمای کمتر از ۶۵ درجه سانتیگراد، ضریب جذب مویینه کمتری نسبت به نمونه‌های عمل آوری شده در دماهای بالاتر داشته و نیز مقاومت ویژه الکتریکی نمونه‌های عمل آوری شده در دمای بالاتر از ۶۵ درجه سانتیگراد، کمتر از دیگر نمونه‌ها می‌باشد [۳۰].

با استفاده از عمل آوری غوطه ور در آب، با گونی مرطوب و با اسپری آب، در دما و رطوبت نسبی محیط به ترتیب ۲۳ درجه سانتی‌گراد و ۷۰ درصد و نسبت آب به سیمان ۰/۲۹ این نتیجه حاصل شد که مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی عمل آوری شده با گونی خیس و اسپری آب به ترتیب به اندازه ۷/۳ و ۱۳/۲٪ کمتر از مقاومت فشاری بتن تحت عمل آوری غوطه ور در آب می‌باشد. اندازه گیری کاهش مقاومت خمشی بتن عمل آوری شده توسط روش‌های گونی مرطوب و توسط اسپری آب، نسبت به مقاومت خمشی توسط عمل آوری غوطه ور در آب به ترتیب ۸/۷ و ۱۲/۸٪ بوده و این مقایسه برای مقاومت کششی به ترتیب کاهشی برابر ۲/۲ و ۵/۷٪ را نشان می‌دهد [۳۱].

در مطالعه دیگری، چهار نوع ترکیب عمل آوری به نام‌های آب، آکرلیک، مواد بر پایه قیر طبیعی و چسب حاصل از ذغالسنگ روی نمونه‌های بتنی اعمال گردید. همچنین از دو نوع بتن با سیمان پرتلند معمولی و بتن با جایگزینی بخشی از سیمان با میکروسیلیس استفاده شد که بر طبق نتایج، مقاومت و دوام نمونه‌های بتنی عمل آوری شده با روش‌های عنوان شده، مشابه یا بهتر از روش عمل آوری با گونی خیس می‌باشد. بهترین نتیجه مربوط به عمل آوری با اعمال مواد بر پایه قیر طبیعی بوده و به ترتیب روش‌های عمل آوری با اعمال مواد چسبی بر پایه ذغالسنگ، بر پایه آکرلیک و بر پایه آب در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند [۳۲].

بتن ساخته شده از سیمان پرتلند معمولی در مقایسه با بتن حاصل از جایگزینی بخشی از سیمان با پودر میکروسیلیس، در شرایط عمل آوری مشابه (با رطوبت نسبی ۶۵ درصد)، دارای مقاومت فشاری کمتری است و همچنین مقاومت فشاری بتن حاوی پودر میکروسیلیس

و عمل آوری شده با رطوبت نسبی ۶۵ درصد، بطور میانگین ۱۳ درصد کمتر از مقاومت فشاری بتن حاصل از سیمان پرتلند معمولی و عمل آوری شده در رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد می‌باشد [۳۳].

نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی با جایگزینی ۳۵، ۵۰ و ۶۰ درصد سرباره کوره‌های بلند آهن گدازی با سیمان، در دمای محیط ۲۰ درجه سانتی گراد و نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ تحت روش‌های عمل آوری غوطه ور در آب، توسط بخار با دمای ۶۵ درجه سانتی گراد و رها شده در هوای آزاد نشان می‌دهد که، مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های بتن عمل آوری شده توسط بخار، بین ۷ تا ۱۴ درصد کمتر از مقاومت فشاری بتن عمل آوری شده توسط روش غوطه ور در آب می‌باشد. همچنین این کاهش مقاومت نسبی برای نمونه‌های بتنی رها شده در محیط آزمایشگاه در حدود ۲۰ درصد بدست آمد [۳۴].

در تحقیقی دیگر، نسبت طرح اختلاط بصورت ۱:۲:۴، نسبت آب به سیمان برابر ۰/۶۵، حداکثر اندازه سنگدانه ۳۷ میلی‌متر و دما و رطوبت نسبی محیط به ترتیب برابر ۲۷ درجه سانتی گراد و ۷۵٪ در نظر گرفته شد. بر این اساس، مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های بتنی در عمل آوری توسط روش‌های غوطه ور در آب، با گونی مرطوب، با ماسه مرطوب، توسط نایلون و رها شده در محیط به ترتیب برابر ۲۳/۶، ۲۴/۴، ۲۲/۵، ۲۳ و ۱۷/۸ مگاپاسکال بدست آمد که کاهش مقاومت در نمونه‌های بتنی رها شده در محیط به اندازه ۲۴/۶٪ کمتر از مقاومت بتن عمل آوری شده توسط روش غوطه ور در آب می‌باشد [۳۵].

توسط عمل آوری مرطوب، در زمان‌های ۳ و ۷ روز، مقاومت و نفوذپذیری بتن‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۴ و کمتر، به حد قابل پذیرش می‌رسد این در حالیست که حد قابل پذیرش برای بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۶ در همین شرایط عمل آوری، ۲۸ روز می‌باشد. همچنین گفته شده است که، دمای عمل آوری روی نفوذ آب در بتن تأثیری نداشته اما روی نفوذ یون کلرید و مقاومت فشاری بتن تأثیر می‌گذارد [۳۶].

همانگونه که در این بخش ملاحظه می‌شود، در هر تحقیق، تعداد و نوع روش‌های عمل آوری، طرح اختلاط، مقدار سیمان یا مواد سیمانی، نسبت آب به سیمان، دمای عمل آوری، رطوبت نسبی، نوع و اندازه سنگدانه، نسبت ماسه به شن، نوع روان کننده و ... شباهتی با تحقیق دیگری ندارد که لزوم بررسی بیشتر تأثیرات روش‌های مختلف عمل آوری، مخصوصاً روش‌های متداول، بر روی جنبه‌های مختلف بتن احساس می‌شود. لذا در این مقاله به بررسی تأثیر ۶ نوع عمل آوری بر روی نفوذ پذیری، مقاومت فشاری و پیچشی نمونه‌های بتنی پرداخته شد. روش‌های عمل آوری مورد استفاده در این مقاله شامل: غوطه ور در آب، با گونی مرطوب، با گونی مرطوب به همراه نایلون، با ماده عمل آورنده، با بخار و رها شده در محیط آزمایشگاه بوده و در ساخت بتن، دو رده مقاومتی C۲۵ و C۳۵ مد نظر قرار گرفت. همچنین جهت تعیین نفوذ پذیری از روش در جای محفظه استوانه ای [۳۷] بهره گرفته شد.

## ۲- تعیین نفوذ پذیری با استفاده از روش محفظه استوانه ای

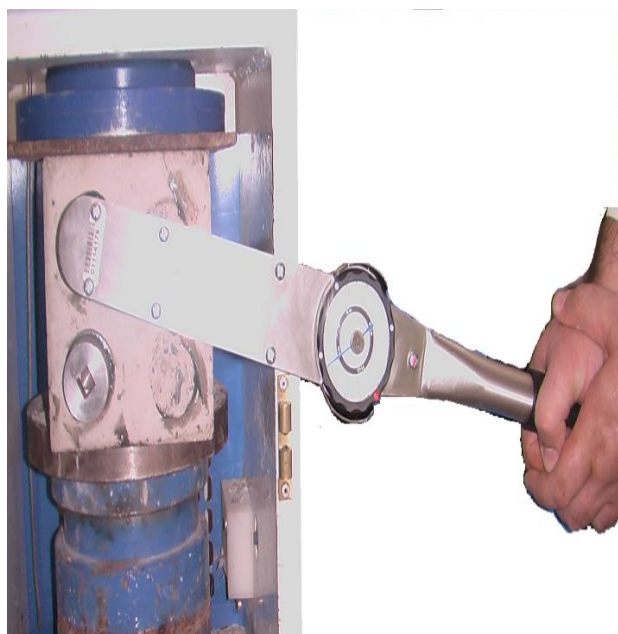
به طور کلی، آزمایش‌های نفوذ پذیری بتن استاندارد نشده اند [۱] و از سویی دیگر، نتایج حاصل از روش‌های متداول تعیین نفوذ پذیری بتن در آزمایشگاه، عمدتاً کیفی و مقایسه‌ای می‌باشد. از این رو، در سال ۲۰۱۱ توسط نادری روشی با کاربردی گسترده و دقیق جهت تعیین مقدار نفوذ پذیری بتن و دیگر مصالح ساختمانی ابداع گردید که این روش در تمامی شرایط آزمایشگاهی، در محل پروژه و در تمامی سطوح افقی، عمودی، سقفی و مورب، به سادگی، با کمترین آموزش و با خرابی جزئی ر و ... قابل انجام می‌باشد [۳۷] که نتایج را بصورت کمی بیان می‌کند. همچنین این روش قادر است ترک‌های ریز و مویین بر روی سطح بتن حتی در محیط آزمایشگاه را نیز بررسی نماید [۳۸]. نحوه انجام این روش بدین شرح است که در ابتدا سطح بتن را کاملاً خشک و تمیز نموده و در ادامه صفحه فلزی دستگاه را که در مرکز آن دارای سوراخ دایره ای شکل می‌باشد با چسب به سطح بتن چسبانده می‌شود. جهت جلوگیری از بروز خطا، چسب اضافی از محل اعمال تنش آبی (سوراخ دایره ای) جمع می‌گردد. پس از اطمینان از به مقاومت رسیدن چسب، قطعه دیگر دستگاه به صفحه فلزی چسبانده شده به بتن، متصل می‌شود. سپس محفظه دستگاه را پر از آب و هواگیری کرده و با پیچاندن اهرم دستی، فشار ثابت آب مورد نظر تامین می‌گردد که توسط فشار سنج عقربه ای قابل مشاهده است. مقدار نفوذ آب، با رویت میکرومتر عقربه ای، در زمان‌های مختلف ثبت می‌گردد. دستگاه محفظه استوانه ای بسته شده روی نمونه بتنی، در شکل ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

## ۳- روش پیچش (Twist-Off)

در سال ۲۰۰۶ توسط نادری روشی تحت عنوان "پیچش" جهت سنجش مقاومت درجای مصالح ساختمانی از جمله بتن و ملات ابداع گردید [۴۰]. که بدلیل موفقیت در کسب نتایج دقیق، از آن می‌توان در فعالیتهای پژوهشی نیز بهره گرفت. این روش جزء روشهای با خرابی جزئی بوده و از مزایای دیگر آن می‌توان به دقت، سرعت انجام، هزینه پایین، عدم نیاز به تخصص، تکرار پذیری آزمایش و تعمیر خرابی جزئی با ملات اشاره نمود. تنها محدودیت در این روش حساسیت چسب به رطوبت و زمانی حدود ۲۴ ساعت برای سخت شدن چسب می‌باشد که این زمان با پیشرفت روز افزون در تکنولوژی تولید چسب، قابل کاهش است [۴۱]. شیوه اعمال روش به این طریق می‌باشد که در ابتدا پس از اطمینان از خشک و تمیز بودن سطح نمونه‌ها، اقدام به چسباندن استوانه فلزی مربوط به این روش توسط چسب اپوکسی به بتن می‌گردد. سپس جهت جلوگیری از خطا در نتایج، چسب اضافی توسط کارتدک برداشته شده و پس از اطمینان از به مقاومت رسیدن چسب، در موعد مقرر اقدام به نصب دستگاه ترکمتر (پیچش سنج) در شیار تعبیه شده استوانه فلزی می‌شود. در ادامه نیرویی یکنواخت و آهسته تا شکست نمونه به ترکمتر اعمال شده و مقدار گشتاور نهایی اعمالی در لحظه شکست ثبت می‌گردد. نحوه اعمال روش پیچش روی نمونه بتنی، در شکل ۱ قابل مشاهده است. در این روش، دو طرف مقابل هرنمونه، مورد آزمایش قرار گرفت که برای هر نوع بتن ۶ نتیجه و در مجموع تمامی آزمایش‌ها ۴۸ نتیجه در دست می‌باشد.

## ۴- مراحل تحقیق

در این مقاله، جهت مشاهده تاثیر نوع عمل آوری بر نفوذ پذیری آب در بتن، شش روش عمل آوری عمدتاً متداول به نام‌های: عمل آوری با گونی مرطوب، گونی مرطوب به همراه نایلون، مواد عمل آورنده، غوطه ور در آب، بخار با تاخیر ۵ ساعته و رها شده در محیط آزمایشگاه انتخاب گردید. سنگدانه‌ها طبق استاندارد ASTM C136-06 [۴۲] دانه بندی (نمودار ۱) و بتن مورد نظر تهیه شد. همچنین جهت تعیین تاثیر مقاومت فشاری و پیچشی بتن بر نفوذ پذیری آن، دو طرح اختلاط با مقاومت مشخصه طرح ۲۵ و ۳۵ مگاپاسکال، به شرح جدول ۱ در نظر گرفته شد.

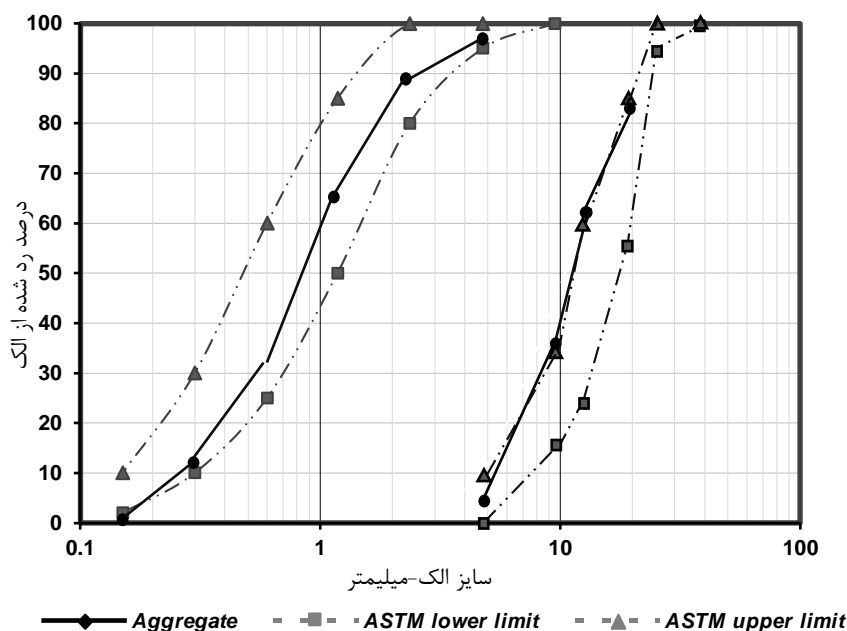


(ب)



(الف)

شکل ۱: نمایی از اعمال روش‌های الف) محفظه استوانه ای و ب) پیچش روی نمونه بتنی.



نمودار ۱: منحنی دانه بندی ریز دانه و درشت دانه.

برای هر مقاومت مشخصه و روش عمل آوری، حداقل ۳ مکعب بتنی  $100 \times 100 \times 100$  میلیمتر ساخته و با روش‌های نام برده، عمل آوری گردید. لازم به ذکر است که مقاومت فشاری و پیچشی نمونه‌های بتنی ساخته شده در سن ۲۸ روز، به ترتیب، با روش فشاری تک محوره و روش پیچش اندازه‌های گیری و جهت تعیین نفوذ پذیری از روش درجای محفظه استوانه ای بهره برده شد. همچنین در روش محفظه استوانه ای، فشار بصورت ثابت و به اندازه ۵ بار تنظیم گردید. در این مقاله از سیمان تیپ ۲ آبیگ مطابق با استاندارد ASTM C150 [۴۳] استفاده و حداکثر اندازه سنگدانه‌ها، ۱۹ میلیمتر می‌باشد.

جدول ۱: طرح اختلاط بتن ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ).

نسبت آب به سیمان	ماسه $\text{Kg}/\text{m}^3$	شن $\text{Kg}/\text{m}^3$	سیمان $\text{Kg}/\text{m}^3$	آب $\text{Kg}/\text{m}^3$	مقاومت مشخصه (MPa)
۰/۶	۷۸۱/۷	۱۰۱۴	۳۱۶/۸	۱۸۹/۵	۲۵
۰/۴۷	۷۰۵	۱۰۱۴	۴۰۶/۳	۱۸۹/۵	۳۵

ماده عمل آورنده مورد استفاده در این تحقیق از محصولات شرکت فرو سیلیس ازنا و مطابق با استاندارد ASTM C 309-81 Type 1 Class A [۴۴] می‌باشد. همچنین ماده عمل آورنده مصرفی از نوع پلی اولفین امولسیون، با رنگ سفید، PH برابر ۸/۵، وزن مخصوص ۰/۹۵ کیلوگرم بر لیتر بوده و پوشش دهی سطحی آن در حدود ۴ الی ۵ متر مربع در هر لیتر است. این ماده پس از ساخت نمونه‌های بتنی و باز کردن قالب‌ها، توسط یک فرچه به تمامی سطوح اعمال (شکل ۲) و نمونه‌های بتنی تا روز انجام آزمایش در محیط آزمایشگاه نگهداری شدند. همچنین ماده عمل آورنده بصورت دو لایه عمود برهم اعمال شده که بخش عمده آن به سرعت جذب بتن گردید. تغییرات دمایی جهت عمل آوری با بخار (با تاخیر ۵ ساعته)، مطابق نمودار ۲ انجام و دمای محیط آزمایشگاه در حدود  $30 \pm 2$  درجه سانتی گراد به ثبت رسید. لازم به



ذکر است که این تحقیق در سال ۱۳۹۱، در آزمایشگاه مکانیک خاک و بتن دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان و با سرپرستی و مسئولیت نویسنده مسئول به انجام رسید.



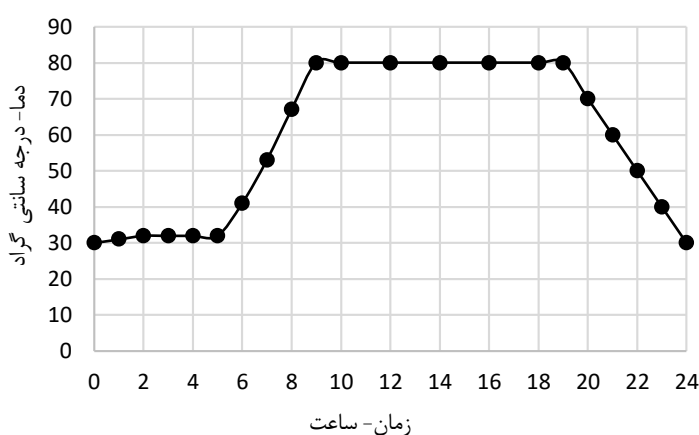
(ت)

(پ)

(ب)

(الف)

شکل ۲: اعمال روش‌های عمل آوری روی نمونه‌های بتن: الف) گونی مرطوب، ب) گونی مرطوب به همراه نایلون، پ) غوطه ور در آب و ت) ماده عمل آورنده.



نمودار ۲: تغییرات دمایی اعمال شده در عمل آوری با بخار با تاخیر ۵ ساعته.

## ۵- نتایج بدست آمده و تحلیل آنها

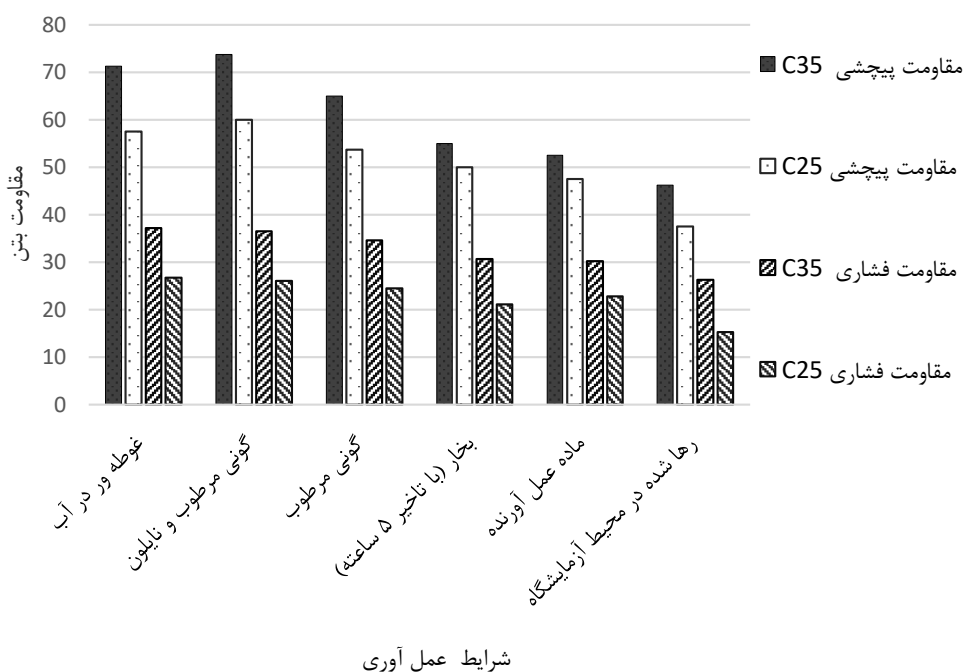
### ۵-۱- نتایج ارتباط بین روش مقاومت فشاری و روش پیچش در بتن تحت شرایط عمل آوری استاندارد (غوطه ور در آب)

ارتباط بین مقاومت فشاری و پیچشی بتن با مقاومت مشخصه ۳۵ مگاپاسکال، در شرایط عمل آوری غوطه ور در آب، در نمودار ۳ نشان داده شده است که بر طبق آن یک رابطه قوی و خطی با ضریب همبستگی ۰/۹۳۹ بدست می‌آید. همچنین در بتن با مقاومت مشخصه



مقاومت فشاری توسط عمل آوری غوطه ور در آب می‌باشد که در دیگر تحقیقات، کاهش بین ۷ تا ۱۴٪ [۳۴]، ۱۳٪/۵ برای C۲۰ و ۵/۳٪ برای C۴۰ [۴۹] قابل رویت است.

از بررسی نمودار ۵، نتایج مشابهی در بتن با مقاومت مشخصه فشاری C۳۵ حاصل گردید بطوریکه بیشترین مقاومت فشاری بتن به میزان ۳۷/۲ مگاپاسکال مربوط به عمل آوری با شرایط غوطه ور در آب می‌باشد. از طرفی مقاومت فشاری بتن در حالت عمل آوری با گونی مرطوب به همراه نایلون، ۳۶/۵ مگاپاسکال بدست آمد و با رها کردن بتن در محیط آزمایشگاه، کمترین مقاومت فشاری به اندازه ۲۶/۳ مگاپاسکال به ثبت رسید که این مقدار ۲۴/۸ درصد کمتر از مقاومت مشخصه بتن می‌باشد. همچنین دیده می‌شود که در هر دو رده مقاومتی، تنها دو روش عمل آوری غوطه ور در آب و عمل آوری با گونی مرطوب به همراه نایلون حداقل مقاومت فشاری مورد انتظار را کسب نمودند. این در حالیست که مقاومت فشاری بتن در روش عمل آوری با گونی مرطوب، در حدود ۲ درصد کمتر از مقاومت مشخصه بتن بدست آمد و دیده شد که با بکارگیری روش‌های عمل آوری با بخار (با تاخیر ۵ ساعته)، رها شده در محیط آزمایشگاه و توسط ماده عمل آورنده، مقاومت فشاری و پیچشی بتن به مقاومت مشخصه خود نمی‌رسد.



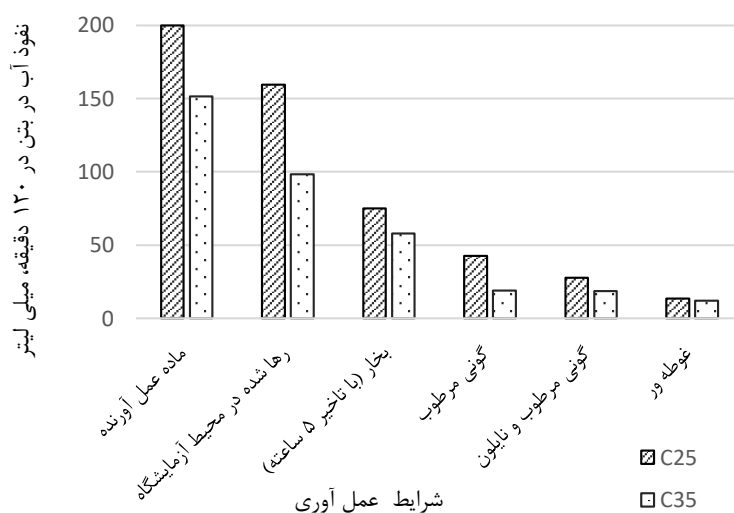
نمودار ۵: مقاومت فشاری (مگاپاسکال) و پیچشی (نیوتن-متر) بتن در شرایط عمل آوری متفاوت.

با توجه به نتایج بخش ۵-۱ و از آنجا که مقاومت‌های مشخصه پیچشی معادل شده با مقاومت مشخصه فشاری ۵۵ و ۶۷ نیوتن-متر بدست می‌آید و همچنین با بررسی نمودار ۵ می‌توان گفت که: در هر دو مقاومت مشخصه پیچشی معادل، تنها در دو حالت غوطه ور در آب و گونی مرطوب به همراه نایلون، مقاومت پیچشی مورد نظر حاصل می‌گردد و در عمل آوری توسط گونی مرطوب، حدود ۲/۷ نیوتن-متر (۳٪) کمتر از مقاومت پیچشی مشخصه بدست می‌آید. بیشترین مقاومت‌های پیچشی بتن، مربوط به مقاومت‌های معادل مشخصه پیچشی ۶۷ و ۵۵ نیوتن-متر، به ترتیب به میزان ۷۳/۷۵ و ۶۰ نیوتن-متر می‌باشد که مربوط به عمل آوری با شرایط گونی مرطوب به همراه نایلون است. همچنین مقاومت‌های پیچشی بتن در حالت عمل آوری غوطه ور در آب، ۷۱/۲۵ و ۵۷/۵ نیوتن-متر بدست آمد و با رها کردن بتن در محیط آزمایشگاه، کمترین مقاومت‌های پیچشی به اندازه ۴۶/۲۶ و ۳۷/۵ نیوتن-متر به ثبت رسید که این مقدار حداقل ۳۱ درصد کمتر از هر دو مقاومت مشخصه پیچشی بتن می‌باشد.

## ۵-۳- نتایج تعیین نفوذ پذیری آزمون‌های بتنی در شرایط عمل آوری مختلف

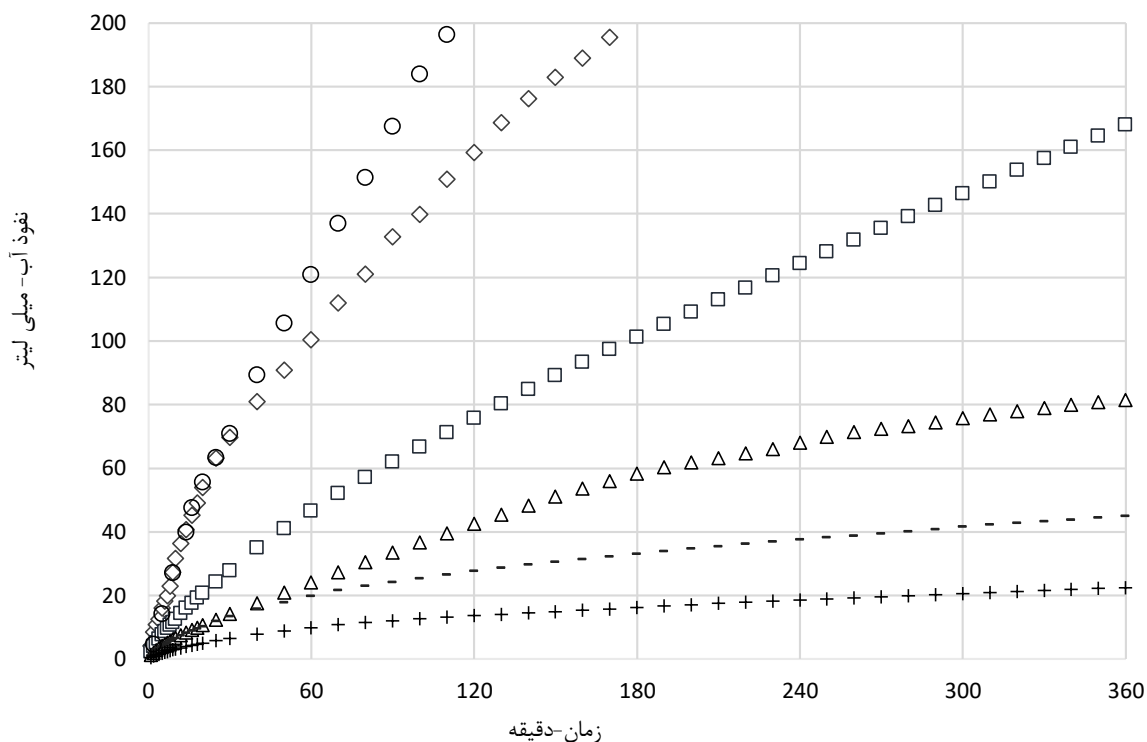
نمودار ۶ جهت مشاهده و انجام مقایسه مقدار نفوذ آب در بتن ترسیم شده است که بر طبق آن مقدار نفوذ آب در ۱۲۰ دقیقه در بتن با مقاومت مشخصه بالاتر، کمتر است. همچنین در شرایط عمل آوری رها شده در محیط آزمایشگاه، با کاهش ۳۹/۳ درصدی مقاومت فشاری بتن، مقدار نفوذ آب از ۹۸/۳ میلی لیتر به ۱۵۹/۲۷ میلی لیتر می‌رسد که افزایشی در حدود ۶۲ درصد را نشان می‌دهد. این در حالیست که در عمل آوری غوطه ور در آب، با کاهش مقاومت فشاری بتن از ۳۷/۲ به ۲۶/۷ مگاپاسکال، مقدار نفوذ آب از ۱۲/۱۷ به ۱۳/۶۵ میلی لیتر می‌رسد که افزایش ۱۲/۲ درصدی در میزان نفوذ آب را نشان می‌دهد.

در نمودار ۷، نفوذ آب در بتن با مقاومت مشخصه C25 نشان داده شده است که بر اساس آن در عمل آوری غوطه ور در آب کمترین مقدار نفوذ آب به میزان ۲۲/۴۸ میلی لیتر در ۳۶۰ دقیقه به ثبت رسید و عمل آوری با گونی مرطوب به همراه نایلون، با نفوذ ۴۴/۹ میلی لیتر آب در زمان ۳۶۰ دقیقه، در جایگاه دوم قرار دارد. همچنین عمل آوری با گونی مرطوب با نفوذی به اندازه ۸۱/۵ میلی لیتر و عمل آوری با بخار با ۱۶۸ میلی لیتر در ۳۶۰ دقیقه به ترتیب در جایگاه سوم و چهارم قرار دارند این در حالیست که هنوز تمام حجم آب موجود در مخزن دستگاه به اتمام نرسیده بود. اما در عمل آوری رها شده در محیط آزمایشگاه، در زمانی حدود ۱۸۰ دقیقه، تمام حجم آب موجود در



نمودار ۶: نفوذ آب در بتن در زمان ۱۲۰ دقیقه در شرایط عمل آوری متفاوت.

مخزن دستگاه به پایان رسید. همچنین عمل آوری با ماده عمل آورنده با زمانی در حدود ۱۲۰ دقیقه دارای سریعترین زمان اتمام آزمایش نفوذ پذیری بوده که حاکی از اینستکه ناکارآمدترین روش در بین روش‌های مورد بررسی می‌باشد.

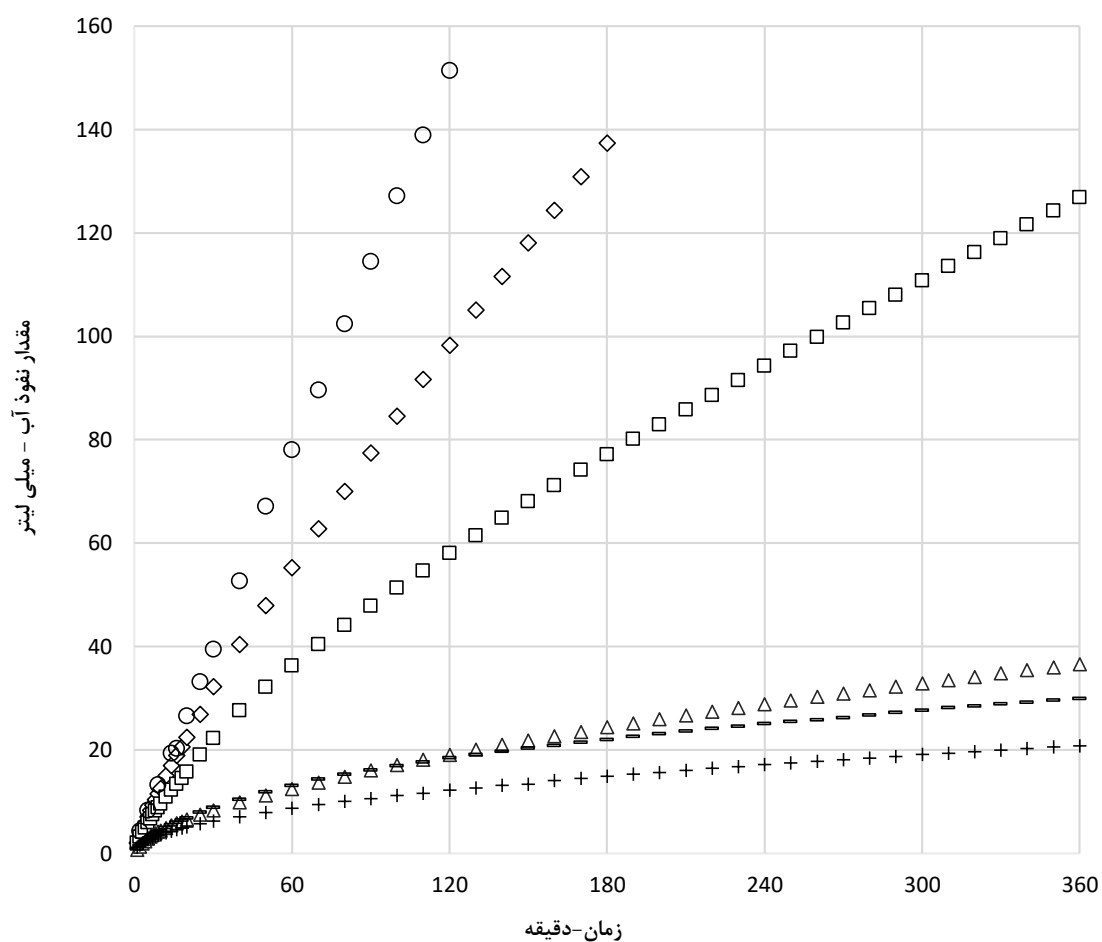


- ◇ رها شده در محیط آزمایشگاه C25      □ بخار C25      △ گونی مرطوب C25  
 - گونی مرطوب و نایلون C25      + غوطه ور C25      ○ ماده عمل آورنده C25

نمودار ۷: نفوذ آب در بتن با مقاومت مشخصه C25 در شرایط عمل آوری مختلف.

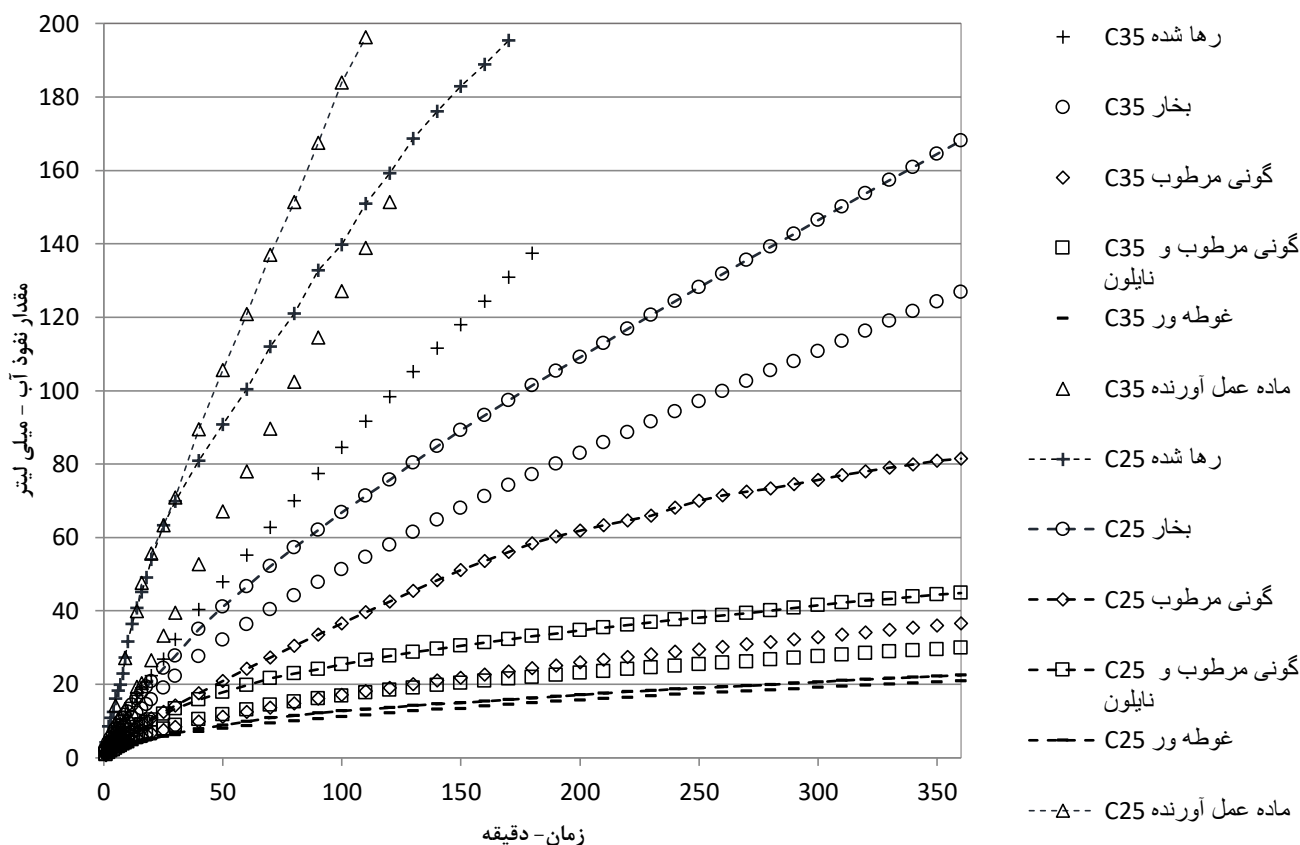
مقدار نفوذ آب در بتن با مقاومت مشخصه C35، در نمودار ۸ قابل مشاهده می‌باشد که نتایجی مشابه با بتن با مقاومت مشخصه C25 را نشان می‌دهد. همچنین جهت مشاهده و مقایسه تاثیر مقاومت مشخصه بر نفوذ آب در بتن، نمودار ۹ ترسیم شده است که بر طبق آن با افزایش مقاومت مشخصه بتن از C25 به C35، از شیب نمودار نفوذ آب کم می‌شود که نشان دهنده کاهش سرعت نفوذ آب در بتن با مقاومت بالاتر می‌باشد.

در نمودارهای ۷ و ۸ علاوه بر مقدار نفوذ آب، مدت زمان و سرعت نفوذ نیز دارای اهمیت است. لازم به ذکر است که شیب نمودار مقدار نفوذ آب در مقابل زمان، مقدار سرعت نفوذ آب در بتن را نشان می‌دهد. بر این اساس، عمل آوری توسط ماده عمل آورنده دارای بیشترین سرعت نفوذ آب در بتن بوده و عمل آوری رها شده در محیط آزمایشگاه در رده دوم قرار می‌گیرد. همچنین عمل آوری غوطه ور در آب پایین ترین سرعت نفوذ را دارا می‌باشد. این نتیجه که بتن عمل آوری شده توسط ماده عمل آورنده، با وجود بتن رها شده در محیط آزمایشگاه، دارای بیشترین مقدار و سرعت نفوذ آب در بتن می‌باشد، برخلاف انتظار است. اما این یافته از این جهت هم می‌تواند مفید باشد که نباید به هر محصولی اعتماد کرد زیرا بعضی‌ها استاندارد را رعایت نکرده و لذا ممکن است بعضی از محصولات با واکنش‌های خود در سطح بتن، حتی نفوذ پذیری را افزایش دهند.



- ◇ رها شده در محیط آزمایشگاه C35      □ بخار C35      △ گونی مرطوب C35  
 ○ ماده عمل آورنده C35      + غوطه ور در آب C35      = گونی مرطوب و نایلون C35

نمودار ۸: نفوذ آب در بتن با مقاومت مشخصه ۳۵ مگا پاسکال در شرایط عمل آوری مختلف.



نمودار ۹: مقایسه نفوذ آب در بتن‌های با مقاومت مشخصه ۲۵ و ۳۵ مگا پاسکال در شرایط عمل آوری مختلف.

بهترین منحنی برازش (قویترین ضریب همبستگی ( $R^2$ )) جهت ارتباط بین نفوذ آب در بتن در شرایط عمل آوری و مقاومتی مختلف، مربوط به منحنی درجه ۲ می‌باشد که در جدول ۳ قابل مشاهده است.

جدول ۳: معادلات منحنی برازش نفوذ آب در شرایط مختلف عمل آوری و مقاومتی.

بتن با مقاومت مشخصه فشاری ۲۵ مگا پاسکال		بتن با مقاومت مشخصه فشاری ۳۵ مگا پاسکال		شرایط عمل آوری
$R^2$	منحنی برازش	$R^2$	منحنی برازش	
0.9844	$y = -0.0002x^2 + 0.1092x + 2.2774$	0.991	$y = -0.0001x^2 + 0.0902x + 2.7558$	غوطه ور
0.9861	$y = -0.0003x^2 + 0.2212x + 4.6977$	0.9865	$y = -0.0002x^2 + 0.1471x + 3.097$	گونی مرطوب به همراه نایلون
0.9996	$y = -0.0005x^2 + 0.3938x + 2.4303$	0.9955	$y = -0.0002x^2 + 0.1522x + 2.8421$	گونی مرطوب
0.9981	$y = -0.0005x^2 + 0.6255x + 6.8723$	0.9977	$y = -0.0004x^2 + 0.4794x + 5.4178$	بخار
0.9968	$y = -0.0142x^2 + 2.3654x + 6.5213$	0.9994	$y = -0.0011x^2 + 0.9291x + 3.1552$	رها شده در محیط آزمایشگاه
0.9988	$y = -0.0211x^2 + 2.9257x + 1.635$	0.9998	$y = -0.0004x^2 + 1.3006x + 1.2101$	ماده عمل آورنده

## ۶- نتیجه گیری

در این مقاله تاثیر شش نوع عمل آوری شامل: عمل آوری با گونی مرطوب، گونی مرطوب به همراه نایلون، مواد عمل آورنده، غوطه ور در آب، بخار با تاخیر ۵ ساعته و رها شده در محیط آزمایشگاه روی مقاومت فشاری و پیچشی و نفوذ پذیری بتن مورد بررسی قرار گرفت. بتن‌های مورد استفاده، در دو رده مقاومتی C۲۵ و C۳۵ بوده و جهت تعیین مقاومت پیچشی و نفوذ پذیری بتن به ترتیب از روش‌های پیچش و محفظه استوانه ای بهره برده شد. همچنین دمای محیط نیز  $30 \pm 2$  درجه سانتیگراد ثبت گردید. که با توجه به مطالب ارائه شده، می‌توان نتایج اصلی را به شرح ذیل بیان نمود:

- ۱- در عمل آوری توسط ماده عمل آورنده، شیب نمودار نفوذ آب در مقابل زمان (سرعت نفوذ آب) و مقدار نفوذ آب در بتن، بیشترین مقدار بوده و عمل آوری رها شده در محیط آزمایشگاه در رتبه بعدی قرار گرفت.
- ۲- کمترین شیب نمودار نفوذ آب در مقابل زمان (سرعت نفوذ آب) و پایین ترین مقدار نفوذ آب در بتن، در عمل آوری در شرایط غوطه ور در آب حاصل شد.
- ۳- در تمامی روش‌های عمل آوری مورد بررسی، با افزایش مقاومت مشخصه فشاری و پیچشی معادل بتن از C۲۵ به C۳۵، از شیب نمودار نفوذ آب در مقابل زمان کاسته شد که نشان دهنده کاهش سرعت نفوذ آب در بتن با مقاومت بیشتر می‌باشد.
- ۴- از نظر کسب مقاومت فشاری، بتن رها شده در محیط آزمایشگاه دارای بدترین شرایط عمل آوری بوده بطوریکه مقاومت فشاری آن بین ۲۴/۸ (برای C۳۵) تا ۳۸/۸ (برای C۲۵) درصد کمتر از مقاومت مشخصه بتن بدست آمد.
- ۵- از نظر کسب مقاومت پیچشی، بتن رها شده در محیط آزمایشگاه دارای بدترین شرایط عمل آوری بوده بطوریکه مقاومت پیچشی آن حداقل ۳۱ درصد کمتر از مقاومت مشخصه پیچشی معادل بتن به ثبت رسید.
- ۶- در عمل آوری رها شده در محیط آزمایشگاه، با کاهش ۳۹/۳ درصدی مقاومت فشاری و ۳۱ درصدی مقاومت پیچشی بتن نسبت به مقاومت مشخصه، به میزان ۶۲ درصد بر نفوذپذیری بتن افزوده شد.
- ۷- در بین روش‌های عمل آوری مورد مطالعه، تنها دو روش عمل آوری غوطه ور در آب و گونی مرطوب به همراه نایلون، قادر به تامین حداقل مقاومت مشخصه فشاری و پیچشی مورد نظر بتن بودند.
- ۸- در روش عمل آوری توسط گونی مرطوب، مقاومت فشاری و پیچشی بتن به ترتیب در حدود ۲ و ۳ درصد کمتر از مقاومت طرح بتن حاصل گردید.

## مراجع

- [1] Neville, A.M. (2011). *Property of concrete* (5th Ed. ), Prentice Hall Pub.
- [2] Mehta, P.K. Monteiro, P.J.M. *Concrete: Micro-structure, properties and materials* (3th Ed. ), Mc Graw-Hill, New York.
- [3] Yang, C. C. Cho, S.W. (2003). Influence of aggregate content on the migration coefficient of concrete materials using electrochemical method. *Materials Chemistry and Physics*, No. 80, pp. 752 – 757.
- [4] Basheer, L. Kroop, J. and Cleland, D.J. (2006). Assessment of durability of concrete from its permeation properties: A Review. *Construction and building materials*, No. 15, pp. 93 – 10, 2001.
- [5] Banthia, N. Biparva, A. and Mindess, S. (2005). Permeability of concrete under stress. *Cement and Concrete Research*, No. 35, pp. 1651 – 1655.
- [6] Jain, A.K. Chauhan, J.S. Goliya, S.S. Effect of shape and size of aggregate on permeability of pervious concrete. *Journal of Engineering Research and Studies*, Vol. II, October–December, pp 48-56, 2011.
- [7] Özen, M. (2007). *Investigation of relationship between aggregate shape parameters and concrete strength using imaging techniques*. Thesis of the Degree of Master of Science in Civil Engineering, University of Murat Özen, Turkey.
- [8] Final Report National concrete pavement technology center. (2009). investigation into freezing-thawing durability of low-permeability concrete with and without air entraining agent.



- [9] Tao, Ji. (2005). Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nano-sio<sub>2</sub>. *Cement and Concrete Research*, No. 35, PP. 1943-1947.
- [10] Researches First international concrete and development conference. (2004). Building and housing research center, Tehran.
- [11] Montes, P. Bremner, T.W. and Castellanos, F. (2006). Interactive effects of fly ash and CNI on corrosion of reinforced high-performance concrete. *Materials and Structures*, Vol. 39, Issue 2, pp 201–210.
- [12] Koliass S. and Georgiou C. (2005). The effect of paste volume and of water content on the strength and water absorption of concrete. *Journal of Cement & Concrete Composites*, No. 27, pp 211-216.
- [13] Ahmad, S. Azad, A.K. and Loughlin, K.F. (2005). A study of permeability and tortuosity of concrete. *30th Conference on Our World in Concrete & Structures*, Singapore, 23 - 24 August.
- [14] Hefnawy, E.El. Ibrahim, A.A. R.A. F. (2014). Comparative study on strength, permeability and sorptivity of concrete and their relation with concrete durability. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)* Volume 4, Issue 4. Pp. 123-131.
- [15] Building and Housing Research Center, N. Issue: 428, National durability of concrete code in Persian Gulf and Oman Sea, P.P. 34-35, 2014.
- [16] Effect of concrete materials on permeability of concrete mixes used in MINNESOTA department of transportation paving projects. Minnesota Department of Transportation Office of Materials and Road Research, December 2009.
- [17] Mehta, P.K. Kumar, P. Monteiro, P.J.M. (2006). *Concrete microstructure, properties and materials: Advanced Concrete Technology*, Mc-Grow Hill.
- [18] Gomes, J.P.C.L.A. de Oliveira, P. and Perei, C.N.G. (2002). Discussion of aggregate and concrete water absorption and permeability testing methodology. *World Congress on Housing Construction- An Inter- disciplinary Task*, September 9-13, Coimbra, Portugal.
- [19] Zhang, S.P. and Zong, L. (2014). Evaluation of relationship between water absorption and durability of concrete materials. *Advances in Materials Science and Engineering*, 8 pages.
- [20] Zhang, F. Guo, L. and Chi, N.M.X. (2014). Coarse aggregate effects on compressive strength and permeability coefficient of non-fine concrete. *EJGE*, Vol. 19, PP.8905-8913.
- [21] Ghiasvand, e. Zareee, b. Sharifi, p. Saraeae, e. (2015). Effect variation of maximum of size of aggregate on permeability of common concretes, *7th annual national concrete conference*, Tehran.
- [22] Naderi, M. (2009). Ways to improve and determine of laboratory and in-situ strength of concrete, (first vol.), published Roozbehan, Tehran.
- [23] Ammar, Y. and Kabagire K. (2014). New approach to proportion pervious concrete. *Construction and Building Materials*, vol. 62:38-46.
- [24] Cervo, T.C. Balbo, J.T. Badawy, M. Severi, A.A. (2010). Influence of curing procedures and porosity in the flexural resistance of concretes for paving. *IBRACON Structures and Materials Journal*, Vol. 3, No. 4, PP. 390 – 395.
- [25] Wanga, K. Youngb, F. Aldeaa, C-M. P.Shaha, S. (2000). Effects of curing conditions on properties of concrete using slag replacement. *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, Issue 3, Pages 465–472.
- [26] Gu, Ch. Sun, W, Guo, L. (2016). Wang Q, Effect of curing conditions on the durability of ultra-high performance concrete under flexural load. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, Volume 31, Issue 2, pp 278–285.
- [27] Naderi, M. Sheibani, R. and Shayanfar, M.A. (2009). Comparison of different curing effects on concrete strength. *3rd International Conference on Concrete & Development*, BHRC, Tehran , Iran,
- [28] Ming-fang, B. Chun-xiang, Qian. Xin-jun, Guo. Xiang-yang Han. (2011). Effects of steam curing on strength and porous structure of concrete with low water/binder ratio. *Construction and Building Materials*, Volume 25, Issue 1, Pages 123–128.
- [29] Elkhadiri, I. Palacios, M. Puertas, F. (2009). Effect of curing temperature on cement hydration. *Ceramics – Silikaty*, Vol. 53 (2), Pages 65-75.
- [30] Family, H. Tadayon, M. Siminpour, M. (2011). Effect of steam curing on the capillary water absorption and electrical resistivity parameters of traditional prefabricated concrete tables, *2th national conference concrete*, Tehran, Iran.
- [31] Zeyad, Abdullah M. (2017). Effect of curing methods in hot weather on the properties of high-strength concretes, *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, online.
- [32] Ibrahim, M. Shameem, M. Al-Mehthel, M. Maslehuddin, M. (2013). Effect of curing methods on strength and durability of concrete under hot weather conditions. *Cement and Concrete Composites*, Volume 41, Pages 60–69.
- [33] Atiş, C.D. Özcan, F. Kılıç, A. Karahan, O. Bilim, C. Severcan, M.H. (2005). Influence of dry and wet curing conditions on compressive strength of silica fume concrete. *Building and Environment*, Volume 40, Issue 12, Pages 1678–1683.
- [34] Lee, S.T. (2008). Effects of curing procedures on the strength and permeability of cementitious composites incorporating GGBFS. *Journal of Ceramic Processing Research*, Vol. 9, No. 4, pp. 358-361.
- [35] Akeem, A.R. Aliu, A.S. Amaka, J.E. (2013). Effect of Curing Methods on Density and Compressive Strength of Concrete, *International Journal of Applied Science and Technology*, Vol. 3, No. 4, pp. 55-64.

- [36] Kefeng, T. Odd E. Gjorv. (1996). Performance of concrete under different curing conditions. *Cement and Concrete Research*, Vol. 26, Issue 3, Pages 355-361.
- [37] Naderi, M. (2010). Determine of concrete, stone, mortar, brick and other construction materials permeability with cylindrical chamber method. *Registration of Patent in Companies and industrial property Office*. Reg. N. 67726. Iran.
- [38] Taheri, M. (2011). *Laboratory measurement of concrete permeability with cylindrical chamber method*. MSc Thesis, International Imam Khomeini University.
- [39] Naderi, M. and et. al. (2011). Laboratory determined permeability of concrete with cylindrical chamber method. *First international conference of un-permeable concrete- Drinking water of storage tanks*, Water and sewer, Guilan, Iran.
- [40] Naderi, M. (2002). *Registration of Patent in Companies and industrial property Office*, Twist-off method, Iran.
- [41] Naderi, M. (2006). Assessing the in situ strength of concrete, using new Twist-Off method. *International journal of civil engineering*, vol.4, No.2. pp. 146-155.
- [42] ASTM C136 - 06 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates.
- [43] ASTM C150 / C150M - 09 Standard specification for Portland cement.
- [44] ASTM C309 - 11 Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete.
- [45] Naderi, M. (2007). New Twist-Off Method for the Evaluation of In-Situ Strength of Concrete. *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 35, No. 6, pp. 602-608.
- [46] Naderi, M. Roostaei, H. (2013). Estimation of Concrete Strength in Sewer Systems. *Journal of Water & Wastewater*, Vol 4, pp. 51-64.
- [47] Naderi, M. and Shibani, R. (2013). New Method for Non-destructive Evaluation of Concrete Strength. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, Vol. 7(2), p.p. 438-447.
- [48] Mamlouk, M.S. and Zaniewski, J.P (2006). *Materials for Civil and Construction Engineers* (2nd Ed.), New Jersey, Pearson Prentice Hall.
- [49] GnanaVenkatesh, S. Arun, M. Arunachalam, N. (2014). Effects on Concrete Strength by Three Types of Curing Methods. *International Journal of Engineering and Management Research*, Vol. 4(6), pp. 6-8.